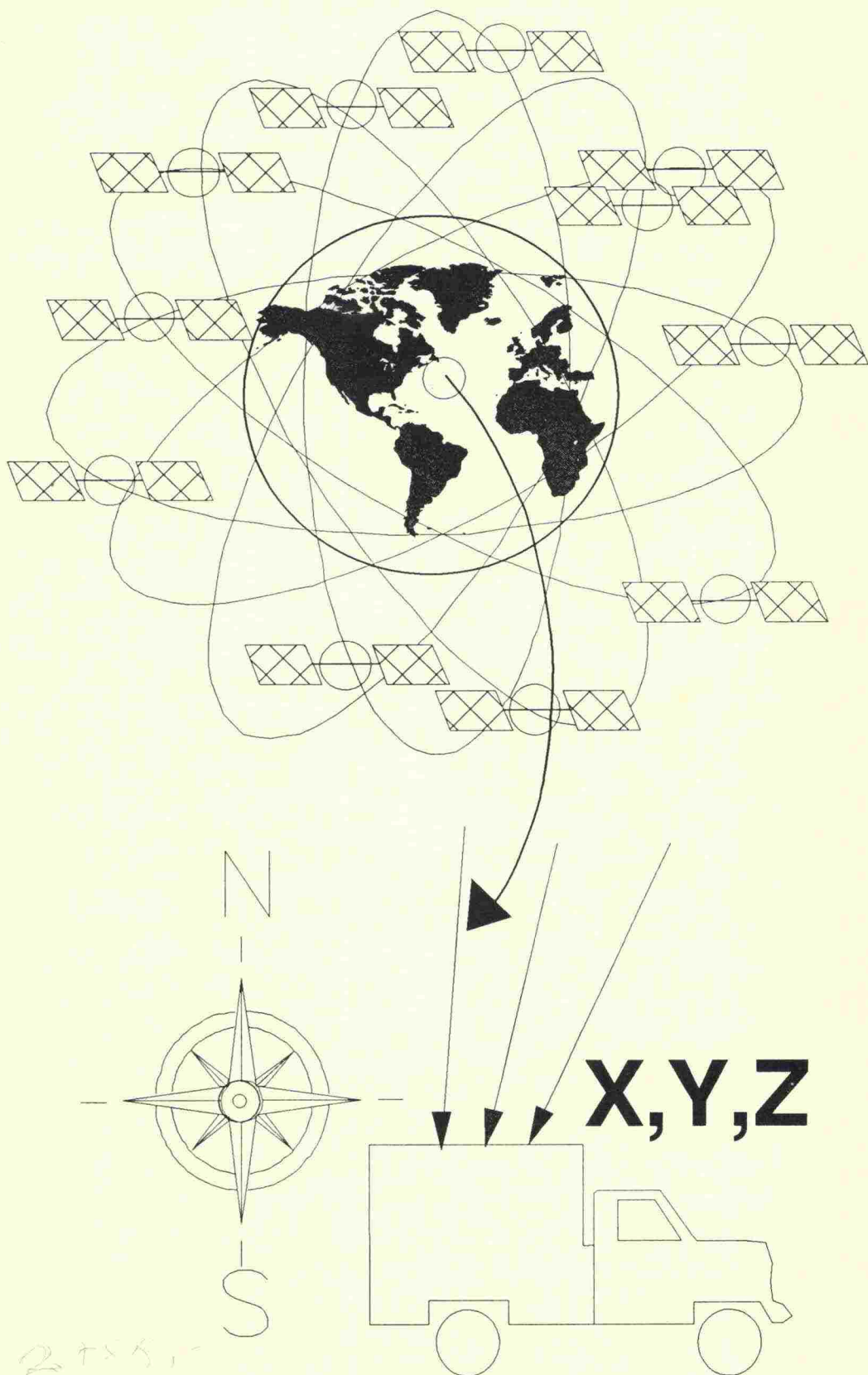


Satelliitteihin perustuvasta paikannusjärjestelmästä



Tielaitoksen
selvityksiä
1/1991

Kuopio 1991

Kuopion tuotanto-
tekkinen
kehitysyksikkö

Tielaitoksen selvityksiä 1/1991

Petri Keränen

**Satelliitteihin perustuvasta
paikannusjärjestelmästä**

Tielaitos
Kuopion tuotantotekninen kehitysyksikkö

Kuopio 1991

ISBN 951-47-4080-7
ISSN 0788-3722
TIEL 3200001
Valtion painatuskeskus
Helsinki 1991

Julkaisua myy
Tiehallitus, lomakevarasto

Tielaitos

Tiehallitus
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puh. vaihde (90) 1541

Kuopion kehitysyksikkö
PL 1117
70101 KUOPIO
Puh.vaihde (971) 199 111

TIIVISTELMÄ

Selvityksen tavoitteena on esittää lyhyt katsaus satelliitteihin perustuvan paikannusjärjestelmän, GPS:n (Global Positioning System), käyttömahdollisuuksista tielaitoksen töissä. Selvitys on osa laajempaa paikannusjärjestelmien kehityksen seurantaa.

Satelliittien avulla tapahtuva mittaus perustuu satelliittien lähettämien mikroaaltosignaalien viiveiden vertailuun. GPS-järjestelmän satelliitit lähettävät navigointitietoja jatkuvasti kahdella tarkkuustasolla (koodilla). Yleisessä käytössä olevalla karkeammalla koodilla päästään yksittäisellä laitteella parhaimmillaankin muutaman kymmenen metrin tarkkuustasoon. Paikallisesti päästään jopa alle senttimetrin tarkkuuksiin ottamalla käyttöön suhteellinen GPS, jossa käytetään tukiasemana sijainniltaan tunnettua pistettä.

Tällä hetkellä GPS-järjestelmää käytetään kiintopisteverkon mittaamiseen ja navigointiin vesiliikenteessä. Muista sovellutuksista Suomessa on testattu ainakin maastotietojen digitointia kartalle ja ajoneuvojen paikannusjärjestelmää.

GPS-järjestelmä valmistuu luultavasti vuosina 1992-93. Teoriassa se tarjoaa ihanteellisen ratkaisun mittaustietojen havainnollistamiseen ja jopa koneiden automaattiseen ohjaukseen. Keskeneräisyydestä aiheutuvista seikoista ja tarkan mittauksen hitaudesta johtuen se ei ainakaan vielä sovellu ainoaksi tietyömaan mittausjärjestelmäksi.

ALKUSANAT

Tämän selvityksen tavoitteena on herättää ajatuksia uuden tekniikan soveltamismahdollisuuksista ja edistää mittaustulosten havainnollistamiseen ja työko-
neiden automaattiseen paikannukseen liittyvää kehitystyötä. Satelliitteihin
perustuva paikannusjärjestelmä on vain yksi mahdollinen ratkaisu, joten myös
 muita, kuten maassa oleviin tukipisteisiin perustuvien paikannusjärjestelmien
kehitystä on syytä seurata.

Selvityksen on koonnut ja laatinut diplomi-insinööri Petri Keränen tielaitoksen
Kuopion kehitysyksikössä. Selvitys ei perustu varsinaiseen tutkimustoimintaan,
vaan se on muodostunut lähinnä henkilökohtaisen mielenkiinnon seurauksena.

Kuopiossa marraskuussa 1990

Kuopion tuotantotekninen kehitysyksikkö

Sisältö

Tiivistelmä	3
Alkusanat	5
Sisällysluettelo	7
1 YLEISTÄ	9
2 GPS-TEKNIikka	9
3 GPS:N KÄYTTÖMAHDOLLISUUKSIA	12
4 KÄYTÖN ONGELMIA	14
5 TULEVAISUUS	15
6 AIHEESEEN LIITTYVIÄ ARTIKKELEITA	16

1 YLEISTÄ

Tietyömaalla, varsinkin tienrakentamisessa, mutta myös kunnossapidossa tehdään paljon sijaintitietojen mittausta. Vaaka-akselien suuntaisten sijaintitietojen lisäksi tarvitaan useimmiten myös korkeusasematietoja. Mittaukset tehdään pääasiassa perinteisillä menetelmillä. Kasvavat tarkkuusvaatimukset ja tarve mittaustöiden tehostamiseen edellyttävät uusien mittausmenetelmien käyttöönottoa ja kehittämistä. Lasermittalaitteiden, lähinnä tasolaserin käyttömahdollisuuksia tietyömaalla tutkitaan parhaillaan. Mittaustekniikoiden kehittämisessä on omana osa-alueenaan mittaustietojen havainnollistaminen suoraan työkoneneen kuljettajalle ja asematietojen käyttö koneen ohjaukseen. Tämä näkökohta silmälläpitäen olen selvittänyt GPS:n (Global Positioning System) sovellusmahdollisuuksia tielaitoksessa ja yleensä tienrakennustöissä.

2 GPS-TEKNIikka

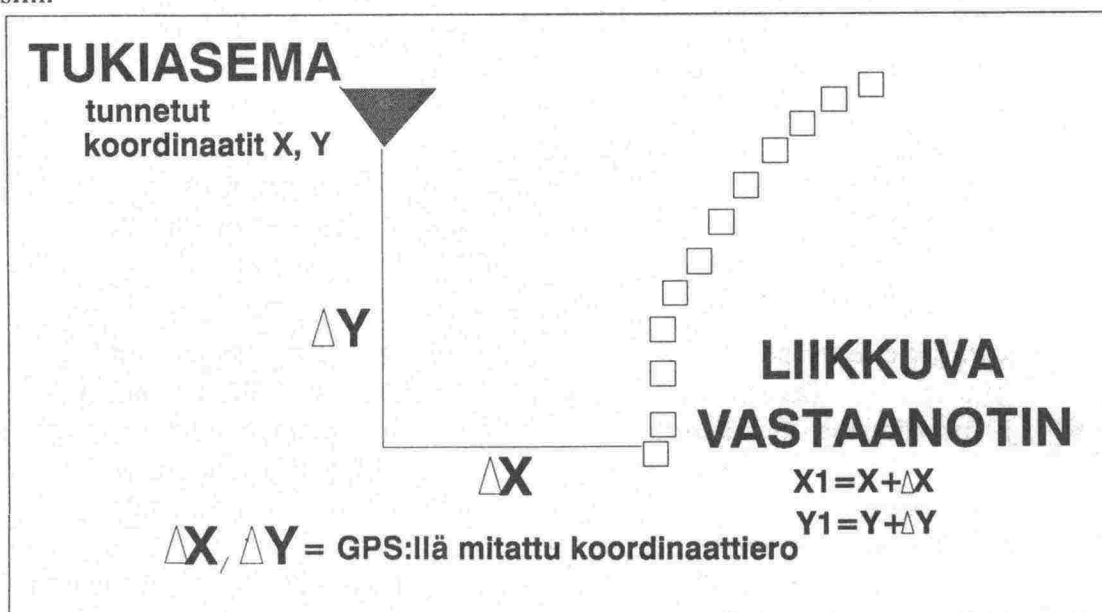
GPS on maailmanlaajuinen paikannusjärjestelmä, jonka Yhdysvaltojen puolustuslaitos on kehittänyt ensisijaisesti omaan ja liittolaistensa käyttöön. Järjestelmä on kuitenkin annettu myös ulkopuolisten käytettäväksi.

GPS-järjestelmä perustuu maapalloa noin 20 000 km korkeudella kiertäviin satelliitteihin. Täydellisessä järjestelmässä tarvitaan 21 satelliittia kuudella kiertoradalla ja riittävä määrä varasatelliitteja häiriöttömän toiminnan varmistamiseksi. Tällä hetkellä on käytössä noin 14 satelliittia ja järjestelmä valmistuu vuosina 1992-93. Avaruussukkuloiden viat ovat hidastaneet satelliittien toimittamista avaruuteen. Järjestelmään kuuluu lisäksi tarkkailuasemia, jotka sijaitsevat eri puolilla Yhdysvaltoja. Päättarkkailuasema, josta satelliittien ohjaus- ja korjaussignaali lähetetään, sijaitsee Colorado Springsissä.

Satelliittien määrä ja tarkat sijaintipaikat takaavat, että horisontin yläpuolella on jatkuvasti vähintään neljä satelliittia. Tämä mahdollistaa vaakasijainnin lisäksi myös korkeusaseman mittaamisen ja mittausgeometrialtaan hyvien satelliittien valitsemisen.

Satelliittien avulla tapahtuva mittaus perustuu satelliittien lähettämien mikroaaltosignaalien viiveiden vertailuun. Vastaanotin pystyy signaalien aika eron perusteella laskemaan satelliittien etäisyydet mittauspisteeseen. Tämän jälkeen vastaanotin laskee mittauspisteen sijainnin käyttäen hyödyksi satelliittien lähettämää tarkkaa ratasijaintia ja pallogeometriaa.

Satelliitit lähettävät navigointitietoja jatkuvasti kahdella tarkkuustasolla (koodilla). Karkeampi tarkkuustaso, jolla päästään parhaimmillaankin muutaman kymmenen metrin tarkkuustasoon, on tarkoitettu vapaaseen käyttöön ja ainakin aluksi pääasiallinen käyttäjäkunta on vesiliikenne. Karkeammallakin koodilla päästään paikallisesti tarkempiin mittaustuloksiin (jopa alle senttimetrin tarkkuuksiin) ottamalla käyttöön suhteellinen GPS. Suhteellisessa GPS:ssä käytetään sijainniltaan tunnettua pistettä tukiasemana ja GPS:n avulla määritetään mitattavan ja tunnetun pisteen välinen etäisyys ja suunta. Tällöin uuden pisteen asema saadaan laskettua (kuva 1). Suhteellisessa GPS:ssä sekä tukiaseman että mittauspisteen vastaanottimien tulee käyttää samoja satelliitteja mittaolosuhteista aiheutuvien virheiden eliminoimiseksi. Valikoidulle käyttäjäkunnalle tarkoitettulla tarkemmalla koodilla päästään suoraankin samoihin tarkkuuksiin.



Kuva 1. Suhteellisen GPS:n periaate. Koordinaattiero mitataan kahdella GPS-vastaanottimella

GPS-järjestelmä käyttää WGS-84 koordinaatistoa (World Geodetic System of 1984), kun taas Suomessa on käytössä oma maakohtainen kartastokoordinaattijärjestelmä. Tästä seuraa, että koordinaattijärjestelmän vaihdon vuoksi tarvitaan alueellisia muunnosparametrejä, jotka saadaan määritettyä referenssipisteiden avulla. GPS-vastaanottimet mahdollistavat muunnosparametrien tallettamisen suoraan laitteen muistiin.

GPS-vastaanottimet ovat monipuolisia. Niiden muistiin pystytään tallentamaan esimerkiksi suunnitellun reitin kohde tai solmupisteet, jolloin vastaanotin kertoo oikean kulkusuunnan. Tarvittaessa laitteeseen pystytään tallettamaan

kuljetun reitin pisteitä. Varsinaisen mittauksen kannalta on oleellista, että vastaanottimet pystyvät kertomaan käytettävissä olevat satelliitit. Tällöin pystytään valitsemaan mittausgeometrian kannalta parhaimmin sijaitsevat satelliitit ja erilaiset häiriötekijät, kuten heijastushäiriöt, pystytään eliminoidaan.

Vastaanottimista halvimmat ottavat vastaan kerrallaan vain yhden tai neljän satelliitin signaalia. Tämä hidastaa mittauksia ja liikkuvan pisteen mittauksessa mittaustarkkuus heikkenee. Parhaimmat, kalleimmat ja tarkimmat vastaanottimet ottavat yhtäaikaan vastaan kaikkien käytettävissä (yli 15° horisontin yläpuolella) olevien satelliittien signaalit ja valitsevat automaattisesti mittausgeometrian kannalta parhaimmat satelliitit. Lisäksi ne mahdollistavat molempien tarkkuustasojen yhtäaikaisen käytön mittauksessa.

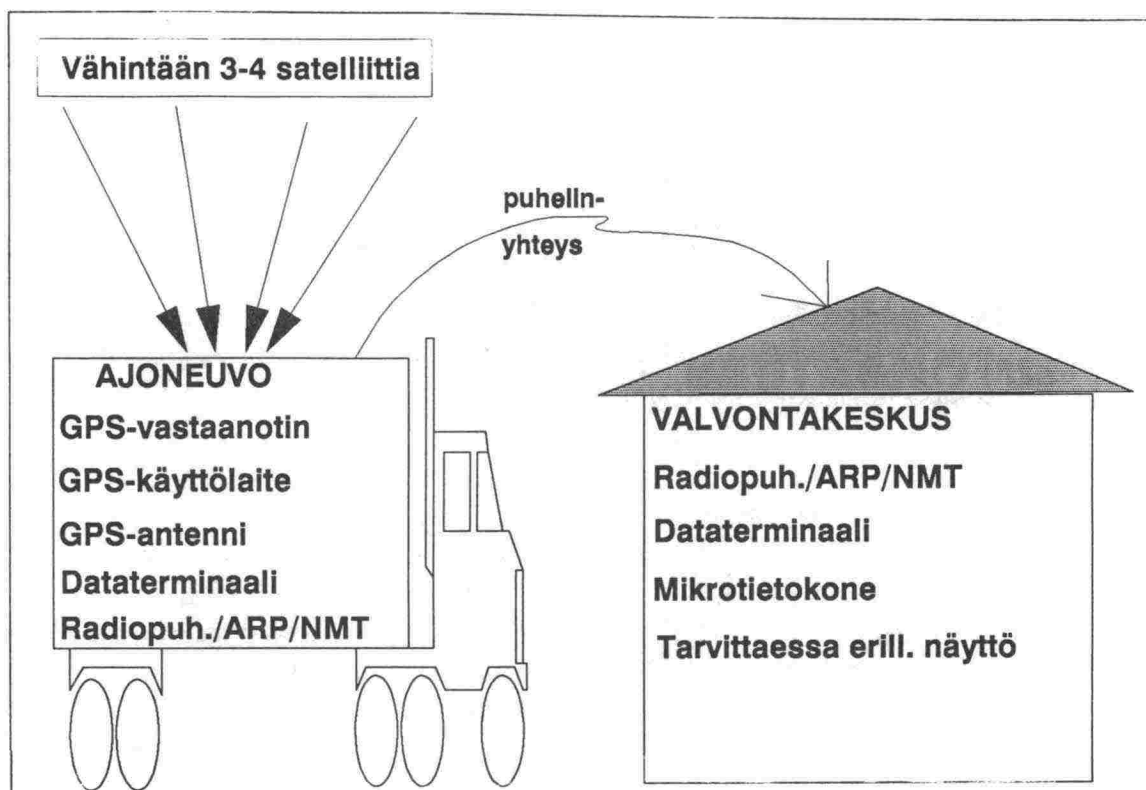
3 GPS:N KÄYTTÖMAHDOLLISUUKSIA

Mihin kaikkeen GPS-järjestelmää sitten voidaan käyttää? Maanmittaushallitus käyttää kuutta GPS-vastaanotinta (hinnat 250...450 000 mk/kpl) kiintopisteverkon mittaamiseen. Muista sovelluksista käytössä oleva on navigointi vesiliikenteessä, koska siellä ei yleensä tarvita erittäin tarkkoja sijaintitietoja ja siten pärjätään yksinkertaisilla ja halvoilla (tällä hetkellä noin 15 000 mk) vastaanottimilla. Koska vastaanottimet ovat pieniä ja helposti kannettavia, niitä voidaan käyttää myös maalla karkeaan paikantamiseen ja esimerkiksi suunnistamiseen. Esimerkiksi tielaitoksessa saattaisi olla käyttöä tällaisille laitteille uuden tien linjausvaihtoehtoja tarkasteltaessa.

Kuivalla maalla GPS:n tyypillisimpiä käyttökohteita ovat rajojen ja pistemäisten kohteiden paikantamiset. Esimerkiksi kerran paikalleen mitattu kohde löytyy aina samasta paikasta ilman erillisiä maastomerkkejä. Muista sovelluksista Suomessa on testattu ainakin maastotietojen digitointia kartalle ja ajoneuvojen paikannusjärjestelmää.

Maastotietojen digitoinnissa yhden pisteen mittausajan tulee olla lyhyt ja useimmiten tarvitaan liikkuva mittausasema. Maanmittaushallitus on kokeillut tiestön kartoittamista liikkuvalla mittausasemalla, mutta tarkkuus ei ole ollut riittävä kartoituksen tarpeisiin. Sen sijaan saavutettu tarkkuus, 1...5 metriä, on aivan riittävä esimerkiksi suunnistuksen ja reitityksen tarpeisiin.

Nokia Data ja KO-MA Oy ovat kehittäneet ja testanneet GPS-pohjaista ajoneuvojen paikannusjärjestelmää. Järjestelmälle asetettavat vaatimukset riippuvat sovelluksesta, mutta useimmissa on pohjana ajoneuvokohtaiset GPS-vastaanottimet, tiedonsiirtojärjestelmä ja tiedonesitysjärjestelmä (kuva 2). Järjestelmän tiedonanto voi olla autonominen, määräajoin tai -paikoin tapahtuva ja muistiintallettava. Tiedonsiirto ajoneuvosta valvonta-asemalle voi tapahtua radiopuhelinverkon, ARP-verkon, NMT tai yleiseurooppalaisen GSM-järjestelmän kautta. Sekä ajoneuvossa että tukiasemalla tarvitaan dataterminaalit muokkaamaan tiedot tiedonsiirtojärjestelmälle sopivaksi. Tiedon esitysjärjestelmä voi olla yksinkertaisimmillaan mikrotietokoneen näyttö, mutta laajoissa sovelluksissa tarvittaneen laajempaa näyttötaulua karttapohjineen.



Kuva 2. Ajoneuvojen paikannusjärjestelmän osat.

Ajoneuvojen paikannusjärjestelmä mahdollistaa erilaisten tunnistekoodien käytön kullekin ajoneuvolle. Tunnistekoodien yhteydessä voidaan esimerkiksi kertoa tehtävä, mitä ajoneuvo on suorittamassa. Paikkatiedoista voidaan esittää tosiasjassa sijainti tai kuljettu reitti tai muistiintalletetuista tiedoista reitti piste kerrallaan animaationa, kuljettu reitti pisteittäin tai kuljettu reitti murtoviivana.

Järjestelmä tarjoaa oivallisen apuvälineen kuljetusten valvontaan ja optimointiin. Tielaikojen ajoneuvojen paikannusjärjestelmää voitaisiin käyttää esimerkiksi kunnossapitoajoneuvojen ohjaukseen varsinkin, kun paineet erilaisten talvihoidon ohjauskeskusten perustamiseen ovat kasvamassa. Järjestelmän mahdolliset hyödyt ja haitat jätän lukijoiden arvioitavaksi. Ajoneuvojen paikannusjärjestelmän perustamiskustannukset ovat noin 30-50 000 mk/ajoneuvo. Mikäli GPS-vastaanottimet asennetaan autoihin, ne mahdollistavat myös entistä tarkempien ajopiirtureiden ja ajokirjauslaitteiden käytön.

4 KÄYTÖN ONGELMIA

GPS-järjestelmä on vielä keskeneräinen ja uusi. Näistä seuraa, että mittauksia ei vielä voida suorittaa ympäri vuorokauden, laitteistot ovat vielä kehittyasteella ja hinnat ovat korkeat ja mittaustulosten jälkikäsitteilyohjelmistot ovat kehittymättömiä.

Keskeneräisyyden vuoksi vuorokaudessa on useita tunteja kestäviä jaksoja, jolloin mittausta ei voida tehdä tai mittausgeometria on huono. Korkeusaseman määrittämistä varten mittaushetkiä on vielä vähemmän, koska silloin tarvitaan yksi satelliitti enemmän. Korkeusaseman mittauksessa on ongelmana myös huono tarkkuus. Yhdellä laitteella mitatut korkeudet saattavat poiketa satoja metrejä todellisesta. Vain suhteellisella GPS:llä saadaan tarkkoja korkeuslukuja.

Koordinaattijärjestelmämuunnokset aiheuttavat virhettä. Tarvitaan periaatepäätöksiä siitä, missä koordinaattijärjestelmässä kulloinkin tietoja esitetään. Lisäksi karttojen esittämistä päätelaitteilla ei ole standardoitu.

Mittaushetkellä GPS-vastaanottimen ja satelliittien välin tulee olla esteetön. Periaatteessa kaikki näkemäesteet muodostavat myös mittausesteen. Tästä seuraa, että esimerkiksi liikkuvan pisteen sijainnin mittauksessa tarvitaan kulkusuuntaan ja -nopeuteen perustuvaa sijainnin laskentaa (dead-reckoning). Dead reckoning-varajärjestelmän mittaustarkkuudeksi on testauksessa saatu noin 1 % kuljetusta matkasta.

Eräs ongelma on myös mittauksen kesto. Maanmittaushallituksen kokemusten mukaan pisteen tarkka paikantaminen kestää suhteellisellakin GPS:llä noin tunnin. Näinkin pitkät mittausajat ovat tienrakennushankkeissa kohtuttoman pitkiä.

Koska GPS-järjestelmän kehittäminen perustuu sotilaallisiin näkökohtiin, mittaustarkkuutta voidaan huonontaa esimerkiksi erilaisten kriisitilanteiden aikana. Sotilaallisesta merkityksestä johtuen GPS-järjestelmän tulevasta toiminnasta sekä mahdollisista käyttörajoituksista ja -maksuista on vaikea saada tietoa.

Järjestelmä ei rajoituksistaan johtuen sovellu ainoaksi tietyömaan mittausjärjestelmäksi. Tosin suuri osa ongelmista tulee poistumaan järjestelmän valmistuttua ja laitevalmistajien aktivoiduttua tarjoamaan erilaisia sovellutuksia.

5. TULEVAISUUS

Teoriassa jo yksinään GPS tarjoaa ihanteellisen ratkaisun työkoneiden aseman määrittämiseen, asematietojen välittämiseen työkoneiden kuljettajille ja jopa automaattisiin säätöihin, mutta näkisin, että lähempänä on esimerkiksi ratkaisu, jossa työkoneen vaakasijainti määritetään suhteellisen GPS:n ja korkeusasema tasolaserin avulla. Myöskin paikalliset maassa olevia tukipisteitä hyödyntävät paikannusjärjestelmät mahdollistanevat erilaisia työmaasovellutuksia.

Havainnollistamis- ja automaattiohjausjärjestelmien kehittäminen on vasta alussa ja vaatii vielä suuria panostuksia. Myöskin tielaitoksen tulee olla mukana kehitystyössä, jotta käyttämämme suunnittelujärjestelmät ja -ohjelmistot soveltuvat tuleviin ratkaisuihin ja mahdollistavat tuotetietojen siirron numeerisesti tietokonemuodossa varsinaisille työn toteuttajille. Varsinkin mittaustietojen havainnollistamisjärjestelmien kehittämisen luulisin kiinnostavan myös urakoitsijoita, koska järjestelmät vaikuttavat selvästi myös työsaavutuksiin.

Kaikesta uudesta huolimatta perinteisiä mittausmenetelmiä tarvitaan vielä pitkään ja on syytä edelleen kehittää.

6 AIHEESEEN LIITTYVIÄ ARTIKKELEITA

Differentiaalinen GPS tieverkon digitointivälineenä. Maanmittaushallituksen koeprojekti, kesä 1990, viitteelliset tulokset. Paikkatietomarkkinat, Helsinki 1990, kokousjulkaisu. 12 s.

Herttua, I. et al. GPS-navigointijärjestelmä Satelliitti paikantaa. Tekniikan Maailma, 1990. No. 9, s. 82-85.

Marttinen, J., Satelliitit autosuunnistuksen apuna. Maanmittaushallitus, Paikkatietomarkkinat, Helsinki 1990, kokousjulkaisu. 5 s.

Melkoista huipputekniikkaa: Paikannus satelliittien avulla muutaman millin tarkkuudella. Megabitti 1989, no. 3, s. 6-9.

Määttänen, A., Neula heinäsuovasta? Supertarkka satelliittipaikantaja. Tekniikan Maailma, 1989. No. 13, s. 96-97.

Vägverket, PPmg. Maskinstyrning. Seminarie 17, VÄG & TRAFIK 90, kongressijulkaisu. 8 s.

TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 1/1990 Liikenneonnettomuuksien aikasarjaennuste vuodelle 1990. 18 s.
TIEL 741863
- 2/1990 Liuskapystyöjakenttien toiminnasta. 64 s. + liitteet, TIEL 703344
- 3/1990 Tiepenkereen holvautuminen : teoreettinen osa. 46 s. + liitteet,
TIEL 703343
- 4/1990 Bitumistabilointi : käytännön ohjeita, mitoitus. 25 s. + liitteet,
TIEL 703899
- 5/1990 Sorateiden ylläpidon ohjaus : stokastisen mallin soveltamisesta sora-
teiden kunnonmittauksiin ja toimenpidesuunnitteluun.
77 s. + 38 liitettä
- 6/1990 Rengasmelu ja päällysteet. 24 s. + 32 liitettä, TIEL 703616
- 7/1990 Talvihoidon laadunseurantajärjestelmän kehittäminen. 20 s. + liitteet,
TIEL 703985
- 8/1990 Tiehankkeiden hyvinvointivaikutusten arviointi. 19 s.
TIEL 703618
- 9/1990 Tienkäyttäjän informoinnin kehittämismahdollisuuksien tarkastelu. 33s.
TIEL 703987
- 10/1990 Tunneliteiden liikenneteknisen mitoituksen perusteita. 82 s. + liitteet,
TIEL 703620
- 1/1991 Satelliitteihin perustuvasta paikannusjärjestelmästä. 18 s.
TIEL 3200001